

# 日益增长的干细胞知识

## 将干细胞用于神经发育毒性研究

大量证据证实，发育中的胚胎器官，特别是发育中的大脑，对化学物质的干扰是十分敏感的。然而，对于特定的内源性化学物质到底是如何影响人类的发育或儿童的学习能力的，科学家们了解很少。有毒物质控制法（Toxic Substances Control Act, TSCA）目录<sup>1</sup>中列出了84000种化学物，其中201种已知对成人有神经毒性的化学物和1000种已知对动物有神经毒性的化学物中的大部分被囊括在内<sup>2</sup>。对于这些化学物如何能影响发育中的婴幼儿，目前几乎没有任何数据。目前还不清楚动物实验结果能否为人类发育的易感性提供准确的信息。

一连串新的人类干细胞研究在化学物如何会影响新生儿发育方面提供了重要线索。干细胞是能在人体内产生部分或全部200多种不同类型细胞能力的主要细胞。随着时间的推移，一些研究人员相信，科学家们可以使用干细胞来获得环境化学物暴露如何影响人类发育（特别是大脑的发育）方面更多的数据。加州大学旧金山分校（University of California San Francisco, UCSF）医学院生殖健康与环境项目（Program on Reproductive Health and the Environment）主任Tracey Woodruff说：“现在是在环境健康领域讨论干细胞研究的关键时刻。”

### 干细胞的承诺

美国和欧盟（European Union, EU）目前正在进行的大部分工作都没有使用人类胚胎干细胞，原因是2010年8月23日哥伦比亚特区联邦地区法院（Federal District Court for the District of Columbia）裁决，人类胚胎干细胞研究不能获得联邦基金的支持<sup>3</sup>。[2010年9月9日，哥伦比亚特区美国巡回上诉法院（the U.S. Circuit Court of Appeals for the District of Columbia）受理了美国司法部（Justice Department）的请求，允许政府暂时恢复对人类胚胎干细胞研究的资助，直到有人对8月的裁决提出上诉<sup>4</sup>。]与此情形相反的是，旨在扩大用人体细胞进行神经发育毒性测试方法的大多数项

目使用的是来源于人体胚胎的神经干细胞，有时也被称为神经祖细胞<sup>5</sup>。现在普遍认为，神经祖细胞具有多种分化潜能，因为这些细胞能分化为人类大脑的三种主要类型的细胞。美国环境保护署（EPA）综合系统毒理学部（Integrated Systems Toxicology Division）毒理学家Tim Shafer说，神经祖细胞的来源包括胎儿的神经系统组织、人类胚胎或者成人的神经系统组织。

全能干/祖细胞能产生保持一个器官系统健康所需要的部分或所有不同类型的细胞。与此相反，多能干细胞能产生多个器官系统所需的细胞。胚胎干细胞被认为是多能干细胞。精子和卵子融合后生成受精卵，非常早期的胚胎细胞是真正的全能细胞，因为它们可以生成人体所需的任何类型的细胞，包括重要的胎盘和胚外膜（如羊膜）<sup>6</sup>。

干细胞的潜在治疗应用——作为烧伤患者新生成的皮肤细胞<sup>7</sup>、辅助患者接受心脏直视手术<sup>8</sup>、或产生脑细胞以治疗帕金森症患者<sup>9</sup>——已经获得了极大的关注。但是，美国国家科学研究委员会（National Research Council, NRC）的“将新兴学科用于环境健康决策（Use of Emerging Science for Environmental Health Decisions）”常委会在2010年6月举办了一次研讨会，会上参与干细胞专题讨论的专家们认为，将干细胞作为研究工具的预期价值可能会更大<sup>10</sup>。干细胞可分化为多种不同类型的细胞，使得它们能够用于模拟人体生物学行为，而这些基本无法通过其他方式来进行研究。除了产前发育过程，干细胞还可用于基因与环境的交互作用研究，以及能生成实验室中难以维持其细胞特性的细胞类型，如肝细胞、肾脏细胞和神经细胞。过去，科学家们想要用神经系统肿瘤细胞来研究人类神经组织，而这些肿瘤细胞“可能不是正常的细胞，”Shafer说，“另一种选择就是用动物来分离培养你所想要的细胞，但每次都要重新分离培养。”

### 神经干细胞培养

荧光显微图像显示，一簇神经干细胞正从位于中心的神经球迁移出来，分化为不同的细胞类型。

淡蓝色表示星形神经胶质纤维酸性蛋白，黄色显示的是神经元微管蛋白III，粉红色显示的是细胞核DNA。

©Riccardo Cassiani-Ingoni/Photo Researchers, Inc.

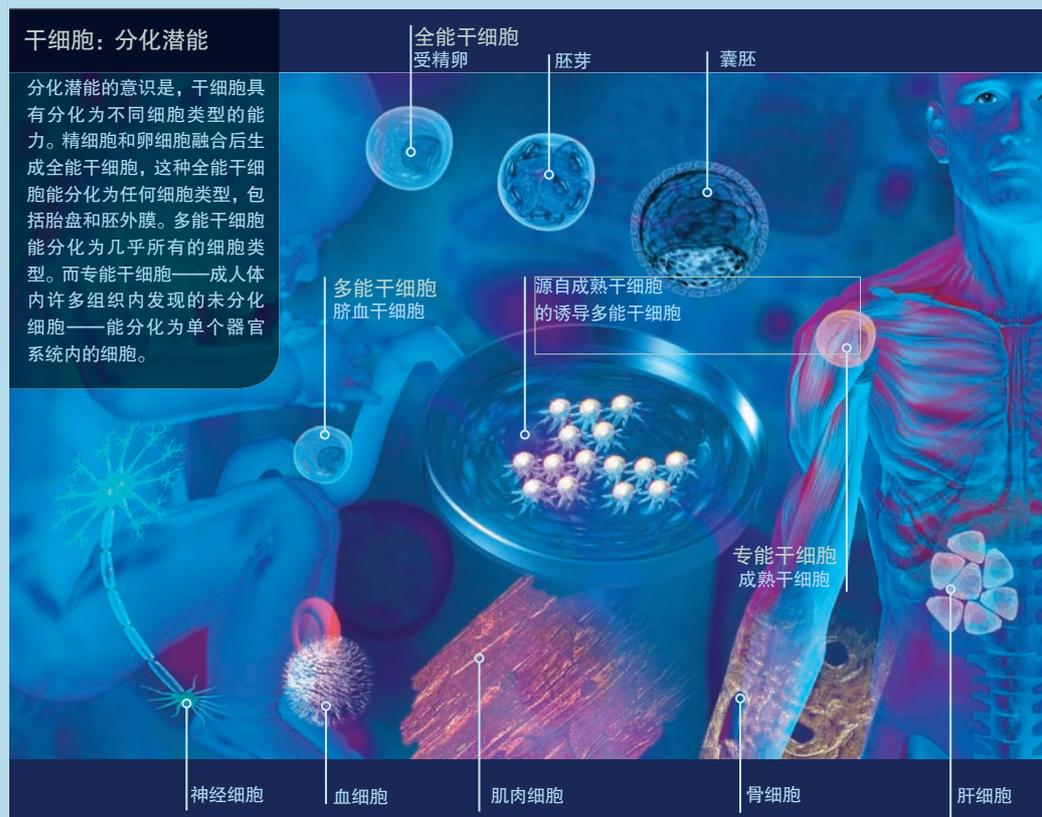
干细胞技术有可能改进步评价过程，因为这涉及到使用人类细胞，干细胞可以为相当广范围的化学品提供范围广泛的数据，其速度要远远超过传统的毒理学试验，Woodruff指出。她说：“干细胞技术为人类健康影响测试提供了一个非侵入性的技术。”

干细胞能减少科学研究中实验室动物的使用。Woodruff说：“我们一直致力于推动减少动物实验的使用。”她指出，欧盟关于化学品注册、评估、授权和限制（European Union's Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical Substances）规管框架的明确目标也是减少实验动物的使用。

NRC于2007年发布的一份报告指出，倡导使用体外实验方法，如基于人体干细胞的体外研究，可以大大减少动物实验的使用频率，有可能同时削减动物试验的使用<sup>11</sup>。使用传统的神经毒性筛选动物实验来评估数以万计的没有神经毒性信息的化学物“简直是完全不切实际的。”Shafer说。她参与了一项使用神经祖细胞评估化学物质如何影响人类的神经发育的项目。“使用动物实验进行神经发育毒性测试的成本会非常大，而且将会需要很多年才能完成这些测试……这些动物实验将会耗费几十万只实验动物。”

毒理学试验中使用人类干细胞可以克服动物实验中存在的一些弊端。生物学家一直怀疑，因为啮齿类动物和人类的早期胚胎发育有所不同，所以以动物为基础的测试可能并不总能对人类的神经毒性做出很好的预测，尤其是在发展的最初阶段。“这可能是由于一些特殊的途径[如那些由芳香烃受体（AhR）介导的途径]，种属差异也可能是其原因。”Woodruff说。

小鼠细胞和人类细胞之间的差异“证明我们确实需要关注那些适用于人类的细胞，”乔治亚大学（University of



Georgia) 环境健康科学系（Environmental Health Science Department）副教授Mary Alice Smith说，“在这一点上，看起来好像人与小鼠细胞之间在AhR方面具有真正的不同，这可能有助于解释我们所看到的物种之间存在的一些不同。”

位于德国杜塞尔多夫（Düsseldorf）的环境健康研究中心（Environmental Health Research Institute）和亚琛大学（University of Aachen）的Ellen Fritsche解释说：“因为物种之间的信号通路发展不是同时的，毒物可以以不同的方式干扰生物体机能。因此，动物实验可能会高估或低估化学物的毒性——或给予正确的毒性评估结果。研究人员必须了解测试物种的生物过程机制，并与人体生物学过程和化学物毒性机制做比较，以了解动物实验的预测价值。”

最后，Woodruff说，人类细胞可以帮助科学家们评估一般人群接触水平下增加的风险。人体细胞的使用也让研究人员有

机会开始尝试去研究不同生命阶段和疾病状态下的人类遗传变异性和易感性。

### 三维研究

在欧洲，德国和波兰的研究团队正在推进将干细胞用于神经发育毒性实验中。欧洲委员会（European Commission）的欧洲替代方法验证中心（European Center for the Validation of Alternative Methods）开发出世界上第一个也是唯一一个经验证的神经发育毒性评估实验，该实验是建立在啮齿类动物胚胎干细胞基础上<sup>12</sup>。现在该团队正致力于将人体胚胎干细胞用于神经发育毒性测试。美国约翰·霍普金斯大学（Johns Hopkins University）动物实验替代法研究中心（Center for Alternatives to Animal Testing）正在与欧洲和美国的研究团队合作研发如何将新技术用于评价神经发育毒性。

Fritsche领导来自德国的其中一个研究团队。她的小组一直用神经球——从商业

途径获得的由人神经祖细胞建立的三维细胞系统——来研究神经发育毒性。Fritsche的研究小组已得到德国政府的资助，以建立能评估神经发育毒性的神经球测试方法。研究人员已证实，细胞系统可以模仿人类神经元发育的关键步骤，包括增殖、分化和迁移<sup>13</sup>。在运用干细胞和神经祖细胞评估神经发育毒性方面，努力创建新的测试方法的波兰和美国EPA的研究人员观察到了类似的效应终点。

专家们一致同意，在一个功能性神经系统形成的过程中存在着一些至关重要的步骤<sup>14</sup>。精心打造的酶系统、离子通道和蛋白质都在神经系统发育中起了非常重要的作用，Shafer说。为了让系统充分地发育，一些生物学进程必须按照一定的时间顺序进行，而其他的则是依赖空间顺序来进行。如果神经细胞不能按照正确的时间和空间顺序进行发育，或者顺序被打乱，那么最终的结果可能就是神经发育障碍。

德国的研究人员已经证实，将神经球暴露于氯化汞和氯化甲基汞等神经发育毒物能减少其产生的神经细胞数量以及细胞迁移距离<sup>13</sup>。Fritsche研究小组的神经球测试还显示，在大脑发育过程中，接触阻燃剂多溴联苯醚（PBDE）可以通过将神经细胞迁移距离减少25%来影响人胚脑细胞<sup>15</sup>。最近，他们比较了人和小鼠的神经球对多环芳烃的反应，该化学物通过激活AhR来显现出其神经发育毒性。Fritsche及其同事发现，AhR不能在神经球细胞内激活，并写道：“目前积累的证据表明，人类AhR信号途径不如大多数实验动物的AhR功能活跃<sup>16</sup>。”

神经球有与其他体外系统相同的弱点，Fritsche说：“由于神经球不是一个完整的有机体，代谢能力有限，因此神经球测试系统没有药代动力学的数据。该系统还仅限于研究大脑发育的基本过程——没有突触功能，没有网络功能，也没有较高的认知功能

用于评价化学物的神经发育毒性。”

“但总体而言，神经球是非常适合于神经发育毒性测试的，”Fritsche说，“神经球是正确的物种。”她说，它们代表了不同类型的神经细胞之间的相互作用（例如，神经元和神经胶质细胞的保护作用），比动物实验更为迅速地得到测试结果，成本也更低。常规的测试需要大约18个月的事件，大约需要140个雌性动物和1000个子代，而神经球测试法则只需要4周的时间（评估神经细胞活力、增殖、迁移、分化和凋亡）。Fritsche估计，她们小组的神经球测试法的成本比传统的毒理学试验减少了约80%。

Fritsche争辩道，神经球的3-D结构也有其独特的优势。在尚未发表的文章中，她说，她和同事的研究结构表明，神经球上表达了某些连接蛋白，能形成间隙连接以介导细胞间通讯。众所周知，这种细胞间通讯作用在维持组织健康和应对细胞环境变化方面具有重要的作用。不过，她承认，她还没有就神经球之间存在的细胞间通讯作用与人体神经元通讯途径间的类似程度进行过研究。她怀疑：“在细胞制备后，至少保存了一些体内存在的细胞间通讯作用。”

神经球的另一个优势在于“细胞具有自我组织的能力，以及通过旁分泌功能[管理邻近细胞信号的作用]起到细胞间相互影响的作用，”Fritsche说，“这使得单个细胞培养较单层细胞培养更为‘现实’；[例如，一些细胞可以保护与之邻近的细胞。”

Fritsche说，这一作用已被PBDEs染毒神经球和人神经母细胞瘤细胞系的比较试验所证明。虽然当BDE-47浓度大于5  $\mu\text{M}$ 时，对人神经母细胞瘤细胞具杀灭作用<sup>17</sup>，但人神经球试验表明，在PBDE染毒浓度高至10  $\mu\text{M}$ 时，也没有观察到其对神经球的细胞毒性。然而，神经球实验结果确实显示了PBDEs对神经元和神经胶质细胞迁

移和分化的影响<sup>15</sup>。“我们认为，研究这些神经发育毒性所特有的作用终点更为重要，因为细胞毒性是一种非特异性的毒性作用。”Fritsche表示到。

她和她的同事现在已经对7种化学物对神经球的影响进行了评估，这些化学物质包括多氯联苯、苯并[a]芘、三甲基胆蒎和2,3,7,8-四氯二苯并对二噁英<sup>16,18</sup>。他们目前正在评估的化学物包括砷、抗惊厥药丙戊酸（已应用于泛自闭症障碍症候群的治疗<sup>19</sup>）、甲基氧化偶氮甲醇（已知该化学物能影响动物的神经功能<sup>20</sup>）和其他一些杀虫剂。为了进一步验证神经球的实用性，该研究团队也正在测试那些预计不会影响神经发育的化合物，尚未发表的研究结果表明，神经球测试方法可适当地辨别化学物有没有神经发育毒性，她说。其团队长远的研究计划是，计划用其他器官来源的祖细胞来扩大他们现在能做的毒理学测试的种类。

#### 脐血干细胞研究

十年前，由Krystyna Domanska-Janik率领的波兰科学院（Polish Academy of Sciences）的科学家们发现了除胚胎组织外的人干细胞的另一来源，因为波兰政府禁止将胚胎干细胞用于科学研究。随着时间的推移，他们成功地从人脐带血中分离出一种无可争议的多能样干细胞<sup>21</sup>。用同样的方法，当时的研究团队成员、现为Mossakowski医学研究中心（Mossakowski Medical Research Centre）干细胞生物工程实验室（Stem Cell Bioengineering Laboratory）主任的Leonora Buzanska找到了一种生成神经干细胞的方法<sup>22</sup>。

最近，与欧州委员会联合研究中心（European Commission Joint Research Centre）体外模型组（*In Vitro Models Unit*）的Sandra Coecke所领导的研究小组合作，Buzanska和她在华沙的同事证明了这一细胞株可以作为神经发育毒性测试

的模型系统应用<sup>23</sup>。研究小组确认, 该细胞株对已知有神经毒性的化学物出现了毒性反应, 这些化学物包括砷钠、氯化甲基汞、氯化镉、毒死蜱和L-谷氨酸。该小组还发现, 当暴露于乙酰氨基酚、茶碱或D-谷氨酸时, 细胞没有受到影响, 因此他们的测试系统能够识别不同发育阶段的不同敏感性。例如, 测试显示, 分化程度越低的细胞对除L-谷氨酸之外的所有已知神经毒物更为敏感, 而L-谷氨酸对分化程度较高的细胞表现出较高的毒性。

Buzanska目前正与欧洲委员会联合研究中心纳米生物科学组的Francois Rossi所率领的研究团队合作, 开发一个她称之为“干细胞生长和分化生物功能微区”的微观平台<sup>24</sup>。微功能区包含不同的“微环境”使得干细胞分化至能达到许多发育终点中的一个, Buzanska解释说。

该项目的目标是使干细胞系平台得到广泛应用, 这些干细胞系能稳定维持在不同的发育阶段, 由多能干细胞状态开始, 最终分化为功能神经元。这一测试平台将

帮助科学家们同时评估受试化学物对神经发育不同阶段的影响, 以及不同的微环境能否为特定发育阶段的细胞提供保护作用, Buzanska说, 她的团队目前正在运用该微观平台对氯化甲基汞进行测试。她希望研究结果能在2011年年初发表。

Fritsche指出, 由于大脑的发育过程是非常复杂的, 因此需要多个体外模型来尽可能多的覆盖到大脑各方面的发育状况。

“Buzanska研发的细胞可能是这个体外测试系统很好的补充,” 她说, “从能代表人类遗传多样性的个体提取这种脐带干细胞系将是非常有帮助的。最大的好处是, 脐带血的供应是没有限制的。”

#### 未来的发展方向

Buzanska和Fritsche都坚信他们的神经发育毒性测试平台将会比传统的动物实验更快, 但是Buzanska的平台最终能否成为高通量检测方法仍然是一个悬而未决的问题。Fritsche说, 神经球可能无法达到“中等通量筛选”的要求。但并不是每一个受试化合物都需要检测其神经发育毒性,

她指出; 例如, “那些不能通过胎盘的化学物不在考虑范围之内。”她说, 优先测试的化学物包括内分泌干扰物和那些在动物实验筛选中表现出一些潜在发育毒性的化学物。因此, 即使用神经球进行神经发育毒性试验需要四个星期的时间才能完成, 使用这一系统, 按照标准操作流程, 每年可以很容易地测试约100种化学物, 她说。

Shafer在美国EPA进行的项目所采用的办法与在欧洲进行的用神经祖细胞评价化学物对人类神经发育的可能影响的项目相类似。Shafer说, 其研究团队的目标是开发他所谓的“第一梯队”方法来确定那些需要进一步进行神经发育毒性测试的化学物, 进一步的测试方法可能用斑马鱼等其他物种模型, 随后再用啮齿类动物或其他哺乳动物来进行测试。

Shafer及其同事们所设计的实验中的神经发育过程包括细胞增殖、分化、轴突生长、突触间隙形成(突触形成)、细胞迁徙、髓鞘化及细胞凋亡。由于该研究团队致力于开发能用于测试化学物对这些神经发育过程影响的实验, 其中一个目标就是确保检测方法可以适合高通量测试的需要, Shafer说。他们使用的是市售的人胚来源的ReNcell CX单层细胞模型。他说, 这便于他人能进行相同的测试, 二维的单层细胞模型也比三维的神经球更适合于高通量测试的需要。

在Shafer领导的研究小组正开发的一系列神经毒性实验中, 细胞增殖实验是最为成熟的一个实验。神经祖细胞增殖对于早期的大脑发育是非常关键的, 此时神经管迅速扩大, 其前段最终分化生成大脑。增殖实验首次被证实有效是在一个小型实验中, 该实验对一组化学物进行了测试, 已有数据显示这些化学物能够影响细胞增殖<sup>25</sup>。最近, 研究人员用309种具生物活性的化学物质对增殖实验的效度进行了测试, 在此之前, 这些化学物已由美国EPA国家计算毒理学中心(National Center for Computational Toxicology)负责运作的ToxCast<sup>TM</sup>项目进行过评估。Shafer小组的试

#### 干细胞用于自闭症研究

斯坦福大学的神经生物学家Ricardo Dolmetsch正用一种非常不同的方法将干细胞用于儿童环境健康研究。Dolmetsch的研究小组正在用人类干细胞来研究泛自闭症障碍症候群(autism spectrum disorders, ASDs)。他说, 研究小组正在为该项研究打基础, 研究结果最终可能创造一个环境化学物的筛选系统, 以评估这些环境化学物是否在ASDs中发挥作用。

据报道, ASDs的发病率一直在上升, 虽然一些间接的证据指出, 环境化学物接触与该病有关, 但缺乏好的数据支持这一结论, Dolmetsch说。用传统的动物模型进行这方面研究存在许多问题, 因为科学家们相信一些重要的神经只存在于灵长类动物中, 他指出。

Dolmetsch重点研究了一些罕见的基因疾病, 已成功地确定了一些与ASDs有关的基因。他说, 这些患者可能有类似的“细胞分子信号”。

他和他的同事们从这些患者的皮肤中收获细胞, 对它们重新编程使之成为诱导多能干细胞, 然后将这些细胞转化为功能细胞。该研究小组已经成功地诱导分化出神经元和神经胶质细胞, 包括能控制多巴胺等激素分泌的儿茶酚胺细胞, 而精神分裂症和自闭症都被证实与多巴胺存在一定关联。

在提交给NRC的6月会议的一篇尚未发表的文章中<sup>10</sup>, Dolmetsch的研究小组报告已成功确定了与Timothy综合征患者体内钙离子通道功能紊乱和心律失常相关的基因, 该病是一种以蹼状指/趾为主要表现的罕见病, 常与发育迟滞和自闭症存在关联。他们还发现了一种似乎能逆转钙信号问题的化合物, Dolmetsch说这可能最终帮助药理学家们发现一种有助于质量Timothy综合征儿童的药物。

斯坦福大学的研究小组还在研究他们的工作与其他罕见ASDs间的关联度。他们坚信, 他们在该研究中取得的成功并不局限于Dolmetsch所谓的缩小与所研究疾病有关基因范围的重点方法。虽然Dolmetsch的研究小组还没有在其研究中使用诱导多能干细胞来研究ASDs的环境触发机制, 但他说, 他相信“这种方法至少在原则上是可行的。”

验表明,在这309种被ToxCast项目记录在案的化学物中,有125种在该测试中表现出对神经细胞增殖有明显的影响<sup>26</sup>。(进一步未发表的实验将这一数字锁定为112种。)参与到EPA的这一项目中,将会使得这些实验结果能与其他筛选和测试工作进行对比,Shafer说。

截至发稿时,我们还不清楚有关干细胞的八月裁决的最终命运到底如何?是否会影响本文所采访的一些研究人员的项目?例如,Smith正在与乔治亚大学(University of Georgia)再生生物科学中心(Regenerative Bioscience Center)主任Steve Stice合作,开发一种基于人胚胎干细胞来源的“干细胞样”细胞的体外系统,来研究可能会影响内分泌系统功能的化学物的发育和生殖毒性。在人体发育早期,Smith解释说,最终分化为男性或女性生殖系统的细胞能表达两种蛋白质,DDX4和POU5f1。Smith和Stice对表达这两种蛋白的细胞的代谢物水平进行了检测,以确定这些细胞暴露于环境化学物后所产生的生化改变。Smith说,假以时日,他们希望能观察到这些化学物对神经细胞的影响。

在其他胚胎干细胞研究中,Woodruff和UCSF细胞和组织生物学系(Department of Cell and Tissue Biology)和妇产科与生殖科学系(Department of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Sciences)的Mike McMaster用双酚A染毒干细胞,所用染毒剂量与孕妇和胎儿中测得的双酚A水平差不多。该小组将研究双酚A暴露如何影响细胞的基因表达和发育潜能。

在NRC六月份的会议上,与会者认为诱导多能干细胞可能是人胚胎干细胞的一种替代模型。在过去的几年里,科学家们开始认识到,构成成年人体的绝大多数组织的体细胞是可以被“重新编程”以产生这些诱导多能干细胞的,哈佛大学儿童医院(Harvard University Children's

Hospital)和哈佛干细胞研究所(Harvard Stem Cell Institute)的M. William Lensch说道。用体细胞创建诱导多能干细胞是完全可能的,因为一个人的所有细胞中都含有构建整个躯体的相同的DNA,他解释说。一个人的功能性细胞,如皮肤细胞和肝细胞,之所以彼此存在不同,是因为它们表达了DNA的不同部分。重新编程的过程涉及到细胞的染色质部分,该部分控制着基因的表达。

诱导多能干细胞正被用于生成多种类型的人体细胞,研究人员相信,像胚胎干细胞一样,这些诱导多能干细胞可以被诱导分化为人体的所有细胞类型。将来,人诱导的多能细胞可能会成功应用于神经发育毒性实验中,Shafer说。它们有可能帮助研究人员揭示更大程度的遗传变异性,他说。

#### 干细胞研究的监管势在必行

直到最近,对大部分有神经发育毒性的化学物(铅、甲基汞、多氯联苯(PCB)、砷和甲苯)的认识是源自于这些化学物所引发的突发性悲惨事件<sup>2</sup>。在过去几年中,NIEHS资助的儿童环境健康与疾病预防研究中心(Centers for Children's Environmental Health and Disease Prevention Research)进行前瞻性的出生队列流行病学研究结果表明,砷、锰、有机氯农药、多溴联苯醚、邻苯二甲酸酯和双酚A也有可能对婴儿的大脑发育产生不良影响<sup>2</sup>。

西奈山医学院(Mount Sinai School of Medicine)的Philip Landrigan指出,美国每年使用的化学品数量约为3000种,重量超过1百万磅,只有一小部分化学物经过了全面测试,以评估它们是否会对发育中的大脑和神经系统造成损害。他说:“儿童从受孕那天起每天接触到的化学物,有80%对大脑和神经系统的潜在毒性作用是未知的。”

但是,环境化学物对神经行为造成的损害是可以预防的,在2006年的一篇

颇有影响力的论文中,Landrigan和哈佛大学公共卫生学院(Harvard School of Public Health)的Philippe Grandjean认为“在新化学物上市销售之前就对其进行测试,这是一种预防其毒性最为有效的方法<sup>2</sup>。”Shafer说,“任何能有助于增加收集化学物毒理信息的工作将能改善[目前的状况]。”

不过,如今将好的实验方法用于准确评估化学物的危害只是解决方案的一部分。Landrigan等公共卫生专家会质疑,如果没有立法或法规要求进行这样的测试,人们是否还会这样做。他说,那些对其制造和销售的化学物没有负起责任的化工厂和不作为的政府部门都应该受到指责。

Landrigan谴责道:“对于这么多的化学物尚未进行过测试,我感到十分的沮丧。我想,在实施有毒物质控制法(TSCA)的情况下,尚有化学物未进行过测试,这是一个严重的失误。”美国众、参议院已提请法案,对TSCA进行修订,同时引入更多的化学物测试方法<sup>27,28</sup>。此外,美国EPA提出了一些条例,用于改进TSCA的化学物报告系统<sup>29</sup>。

与此同时,今天的人们,尤其是儿童,暴露于数以千计的化学物种,而这些化学物从来没有进行过适当的毒性测试——或完全没有被测试过,Landrigan说。他说:

“前途堪忧啊!儿童每天接触到各种化学物,孕妇的血液、母乳和脐带血中都可检测到这些化学物,而我们很可能从来没有妥善检测过它们是否具有神经毒性。”

Kellyn S. Betts已在过去十余年内为EHP和《环境科学与技术》(Environmental Science & Technology)等杂志撰写过环境污染物及其危害和环境技术方面的文章。

译自 EHP 118:A432-A437 (2010)

\*本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

<http://ehponline.org/article/info:doi/10.1289/ehp.118-a432>